

AK

## Device for detection of torque transferred in a shaft, especially between a shaft arranged between a test piece and a testing machine.

**Patent number:** DE4021914  
**Publication date:** 1991-01-31  
**Inventor:** RENZ ROLAND DIPLO ING (DE)  
**Applicant:** SIEMENS AG (DE)  
**Classification:**  
- international: G01L3/10; G01L3/10; (IPC1-7): G01L3/04; G01M13/00  
- european: G01L3/10D  
**Application number:** DE19904021914 19900710  
**Priority number(s):** EP19890113596 19890724

**Also published as:**  
 EP0410133 (A2)  
 EP0410133 (A3)  
 EP0410133 (B1)

[Report a data error here](#)

Abstract not available for DE4021914

Abstract of corresponding document: EP0410133

The invention relates to an improved torque-measuring shaft in the drive line between a test piece (1) and a testing machine (2) of a test bed. The robust and relatively long measuring shaft is formed by a carbon-fibre multi-layer tube (3). The strains in a measuring surface (8) are detected in three directions and serve to calculate the torque.

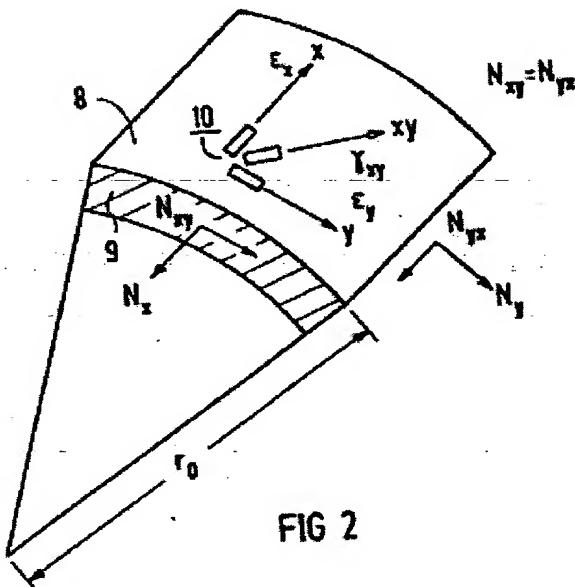


FIG 2

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

USPS EXPRESS MAIL  
EV 636 851 955 US  
APR 28 2006

AK



① BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Patentschrift  
⑬ DE 40 21 914 C 2

⑭ Int. Cl. 5:  
G 01 L 3/10  
G 01 M 13/00

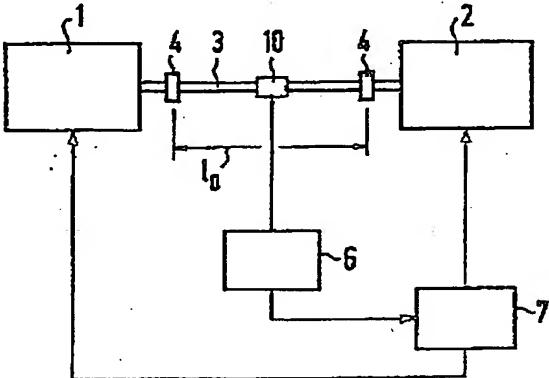
⑮ Aktenzeichen: P 40 21 914.3-42  
⑯ Anmeldetag: 10. 7. 90  
⑰ Offenlegungstag: 31. 1. 91  
⑱ Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 11. 3. 99

DE 40 21 914 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

|  |   |
|--|---|
| ⑩ Unionspriorität:<br>89 11 3596. 4 24. 07. 89 EP  | ⑫ Erfinder:<br>gleich Patentinhaber   |
| ⑬ Patentinhaber:<br>Renz, Roland Adam, Dipl.-Ing., 90763 Fürth, DE   | ⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:<br>DE 35 28 364 A1<br>DE 25 49 025 A1<br>DD 2 13 505<br>Siemens Zeitschrift Bd. 45, Heft 10, S. 719-23 (1971);<br>Ciba-Geigy Firmenschrift: "Kohlefaser- und Aramidkunststoffe für Kardanwellen (1981);<br>G. Niederstädt: "Kontakt und Studium", Bd. 167, Expert-Verlag;<br>K. Hofmann: "Einführung in die Technik des Messens mit Dehnungsmeßstreifen, Darmstadt 1987; |
| ⑭ Vertreter:<br>Zeitler & Dickel Patentanwälte, 80539 München  |   |
| ⑯ Verfahren und Vorrichtung zur Erfassung des von einer Welle zwischen einem Prüfling und einer Prüfmaschine übertragenen Drehmomentes |   |

⑯ Verfahren zur Erfassung des von einer Welle zwischen einem Prüfling und einer Prüfmaschine übertragenen Drehmoments mit folgenden Schritten:  
 a) zur Kopplung von Prüfling und Prüfmaschine wird als Welle ein Rohr (3) in Form eines Mehrschichtverbundes aus Faser-Matrix-Kunststoff verwendet, so daß die Kopplung von Prüfling und Prüfmaschine in hinreichender Näherung einen Zweimassenschwinger bildet;  
 b) auf einem als annähernd eben anzusehenden Flächen-element (8) des Rohres (3), das senkrecht zum Rohrradius liegt, wird mit Dehnungsmeßstreifen (10) die relative Verzerrung in mindestens drei verschiedenen Richtungen gemessen;  
 c) aus den relativen Verzerrungen ( $E_x$ ,  $E_y$ ,  $\gamma_{xy}$ ) wird durch Verknüpfung mit den zugehörigen Koeffizienten (B) der Elastizität des Rohres für die betreffenden Richtungen (X, Y, XY) eine Kraft ( $N_{xy}$ ) ermittelt, die unter Berücksichtigung von Bezugsradius ( $r_0$ ) und Rohrlänge ( $l_0$ ) ein Maß für das Drehmoment ( $M_T$ ) darstellt.



DE 40 21 914 C 2

BUNDESDRUCKEREI 01.99 802 170/26/9

16

USPS EXPRESS MAIL  
EV 636 851 955 US  
APR 28 2006

# DE 40 21 914 C 2

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Erfassung des in einer Welle übertragenen Drehmomentes insbesondere in einer zwischen einem Prüfling und einer Prüfmaschine angeordneten Welle in einem Prüfstand durch Erfassen elastischer Verformungen der Welle.

Zur Drehmomentserfassung bei Prüfständen sind drei Verfahren bekannt. Das eine Verfahren beruht darauf, die Belastungsmaschine pendelnd aufzuhängen und das Reaktionsmoment zu messen. Die zweite Methode besteht bei elektrischen Maschinen darin, das Drehmoment aus relativ leicht erfassbaren elektrischen Größen und mechanischen Kontraktgrößen zu berechnen. Die dritte, sehr häufig verwendete Methode ist die Verwendung einer Drehmomentmesswelle, die im Antriebsstrang eingebaut wird. Wegen der hohen Drehzahl auf Prüfständen können im allgemeinen diese Meßwellen nicht fliegend im Wellenstrang eingebaut und müssen daher im eigenen Stehlager nochmals gelagert werden.

Vor- und Nachteile der einzelnen Meßverfahren sind z. B. in der Siemens-Zeitschrift 97, Heft 10, S. 720 – beschrieben.

Eisner Lösungen haben immer den Nachteil, daß das übertragene Drehmoment nicht exakt in der Schnittebene eines Zweimassenschwingers gemessen wird. Zudem bildet der mechanische Aufbau bisheriger Prüfstände mit der eingebauten konventionellen Meßwelle immer mindestens ein Dreimassensystem. Dies führt in aller Regel zu Phasensprünge (zusätzlicher Freiheitsgrad) und Frequenzanteilen der zweiten Systemeigenfrequenz eines Dreimassenschwingers im Drehmomentmeßwellensignal.

Bei Motorenprüfständen in der Automobilindustrie ist häufig ein größerer Abstand zwischen Prüfling, z. B. einer Verbrennungskraftmaschine und der elektrischen Prüfmaschine notwendig bzw. zweckmäßig; z. B. wegen eines angebauten Auspuffes am Prüfling oder wegen des Abfangens von Schwingungen des gefederten Motors, da lange Verbindungen nur relativ kleine Ausschläge in Verbindungskupplungen hervorrufen. Auf der anderen Seite ist die Verwendung relativ langer Wellen, insbesondere im Hinblick auf Biege- und Drehschwingungen nicht ganz unproblematisch.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren sowie eine Vorrichtung der eingangs genannten Art zur Verfügung zu stellen, durch welche sich Phasensprünge vermeiden lassen und Frequenzanteile der zweiten Systemeigenfrequenz eines Dreimassenschwingers im Drehmoment-Meßwellensignal nicht auftreten. Die Vorrichtung soll robust sein und relativ lange Wellen zulassen.

Gelöst wird diese Aufgabe gemäß der Erfindung durch die im Kennzeichen des Hauptanspruches angegebenen Merkmale, wobei hinsichtlich bevorzugter Ausgestaltungen der Erfindung auf die Merkmale der Unteraussprüche verwiesen wird.

Gerüft der Erfindung umfaßt das Verfahren die folgenden Schritte:

- a) zur Kopplung von Prüfling und Prüfmaschine wird als Welle ein Rohr 3 in Form eines Mehrschichtverbundes aus Faser-Matrix-Kunststoff verwendet, so daß die Kopplung von Prüfling und Prüfmaschine in hinreichender Näherung einen Zweimassenschwinger bildet;
- b) auf einem als annähernd eben anzusehenden Flächenelement 8 des Rohres 3, das senkrecht zum Rohrradius liegt, wird mit Dehnungsmeßstreifen 10 die relative Verzerrung in mindestens drei verschiedenen Richtungen gemessen;
- c) aus den relativen Verzerrungen ( $E_x, E_y, \gamma_{xy}$ ) wird durch Verknüpfung mit den zugehörigen Koeffizienten (B) der Elastizität des Rohres für die betreffenden Richtungen (X, Y, XY) eine Kraft ( $N_{xy}$ ) ermittelt, die unter Berücksichtigung von Bezugsradius ( $r_0$ ) und Rohrlänge ( $l_0$ ) ein Maß für das Drehmoment ( $M_f$ ) darstellt.

Das hier vorgeschlagene Verfahren zur Messung des übertragenen Drehmomentes im Antriebsstrang hat nicht die eingangs genannten Nachteile, da die Kopplung der elektrischen Maschine mit dem Prüfling (z. B. Verbrennungsmotor) mit Hilfe einer einzigen Torsionsfeder (Mehrschicht-Matrix-Verbundwerkstoff) mechanisch hinreichend einen gedämpften Zweimassenschwinger bilden. Die mechanischen Eigenschaften der Torsionsfeder sind in Längsrichtung konstant und das Reaktionsmoment kann dadurch genau in der Schnittebene eines Zweimassenschwingers gemessen werden. Dies hat den wichtigen Vorteil, daß der mechanische Verbund mit guter Genauigkeit als gedämpfter Zweimassenschwinger beschrieben werden kann (gewöhnliche Differentialgleichung zweiter Ordnung). Daraus ergibt sich fernerhin die Möglichkeit, in einem Rechenmodell in Verbindung mit dem gemessenen Wellendrehmoment (Schnittdrehmoment) physikalisch nicht meßbare Systemgrößen zu schätzen. Dies sind oft ein oder mehrere dominante Systemvariablen, die zu Regelungszwecken vorteilhaft ausgenutzt werden können.

Als Mehrschichtverbundwerkstoff kommen vor allem Kohlenfaser- und/oder Aramidfaser-Kunststoffe infrage. Ein Rohr aus derartigem Material ist relativ leicht, verfügt über ein gewisses Dämpfungsvermögen bei Torsion und ist auch bei hohen Eigenfrequenzen stabil. Damit entfallen bei langen Wellen die Zwischenlager. Die Schwierigkeit, die sich ergibt, daß es sich bei den Mehrschichtverbundwerkstoffen um anisotropes (orthotropes) Material handelt, kann dabei dadurch umgangen werden, daß die Dehnungen (Verzerrungen) in drei Richtungen in an sich bekannter Weise mit z. B. Dehnungsmeßstreifen erfaßt werden und aus diesen drei Maßwerten unter Berücksichtigung der Steifigkeitsmatrix des Mehrschichtverbundes eine Membrankraft ermittelt werden kann, die proportional dem Torsionsmoment einer Rohrverbindung eines Mehrschichtverbundes ist. Die genannte Matrix läßt sich unter der Annahme symmetrischer Verhältnisse des Mehrschichtverbundes hinsichtlich der Wicklung und durch Wahl einer annähernd als eben anzusehenden Meßfläche auf eine relativ einfache Form reduzieren, und zwar lautet die Beziehung für das Moment M

$$M \sim (B_{13} \cdot E_x + B_{23} E_y + B_{33} \gamma_{xy})$$

wobei  $E_x, E_y$  und  $\gamma_{xy}$  die relativen Verzerrungen in den einzelnen Richtungen x, y und xy und  $B_{13}, B_{23}$  und  $B_{33}$  die entsprechenden Verbundkenngrößen (Elastizitätsmodule bzw. Steifigkeitsmatrix) darstellen.

Anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels ist die Erfindung näher erläutert; es zeigen:

# DE 40 21 914 C 2

Fig. 1 das Prinzipschaltbild der Meßanordnung;  
 Fig. 2 die Verhältnisse am Meßort und  
 Fig. 3 den Aufbau einer Welle.

Wie aus Fig. 1 ersichtlich, ist zwischen einer Arbeitsmaschine 1 und einer Kraftmaschine 2 eine Drehmomentmeßwelle 3 vorgesehen. Diese Drehmomentwelle 3, die aus einem symmetrischen Mehrschichtverbund aus Faser-Matrix-Kunststoffen in symmetrischer Wicklung besteht, stellt die eigentliche Meßstrecke  $l_0$  von z. B. 1,5 m zwischen den beiden Kupplungen 4 dar. Auf dieser Welle 3, die als relativ dümwandiges, aber gleichzeitig stabiles Rohr von z. B. 120 mm Durchmesser mit definierter Torsionssteifigkeit ausgebildet ist, sind auf der annähernd ebenen Meßfläche 8 in der Rohrwandung 9 in den zwei zueinander senkrechten Richtungen X und Y und in einer unter  $45^\circ$  dazu liegenden Richtung (X, Y) jeweils ein Dehnungsmeßstreifen 10 angeordnet, dessen Werte in an sich bekannter Weise über eine rotierende Stelle nach außen zu einer ortsfesten Meßwertverarbeitung 6 übertragen werden können. Von dort aus gelangen diese Werte in einen Rechner 7, der seinerseits wieder Arbeitsmaschine 1 und Kraftmaschine 2 entsprechend regelt. Unter der Annahme, daß der Mehrschichtverbund symmetrisch ist und daß die Krümmungen vernachlässigbar klein seien, ergibt sich folgendes Gleichungssystem des Mehrschichtverbundes:

$$\begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} \\ B_{12} & B_{22} & B_{23} \\ B_{13} & B_{23} & B_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad \text{kurz: } \vec{N} = \underline{B} \cdot \vec{v}$$

wobei unter  $N_x$  eine der Zug-/Druckbelastung in Rohrlängsrichtung (x) proportionale Schnittgröße zu verstehen ist, unter  $N_y$  eine Größe, die proportional der Umfangskraft ist und unter  $N_{xy}$  eine Torsionskraft, die dem Torsionsmoment  $M_T$  unter Berücksichtigung der Rohrgeometrie proportional ist. Im allgemeinen sind die Verbundkenngrößen  $B$  der Steifigkeitsmatrix temperaturabhängig. Demzufolge sind die Membrangrößen  $N$  im allgemeinen temperaturabhängig, was im speziellen Anwendungsfall zu berücksichtigen ist.

Unter den Werten  $E_x$ ,  $E_y$  und  $\gamma_{xy}$  sind die Meßgrößen, d. h. die relativen Dehnungen (Verzerrungen) aus den Messungen mit den Dehnungsmeßstreifen in drei Richtungen zu verstehen. Das gesuchte Torsionsmoment  $M_T$  ergibt sich also aus folgender Beziehung:

$$M_T = N_{xy} \cdot r_0 \cdot 1 = (B_{13} E_x + B_{23} E_y + B_{33} \gamma_{xy}) \cdot r_0 \cdot 1.$$

Wie ersichtlich, werden also nur noch drei Verbundkenngrößen  $B_{13}$ ,  $B_{23}$  und  $B_{33}$  benötigt.

Unter Verwendung der hier richtungsabhängigen poissonischen Querkontraktionszahlen lassen sich die üblicherweise bekannten, hier ebenfalls richtungsabhängigen, Elastizitätsmodule und Schubmodule angeben. Diese Betrachtungsweise bringt aber bei orthotropen Materialien keine Vereinfachung.

Unter  $r_0$  ist der mittlere Bezugsradius der Meßfläche des Mehrschichtverbundes und unter  $l_0$  die effektive Torsionslänge des Mehrschichtverbundes, d. h. des Rohres zu verstehen.

Zur Berücksichtigung von Zentrifugalbeschleunigungsdehnung und Biegeauslenkung können dem so errechneten Wellendrehmoment  $M_T$  bzw. dan zur Bestimmung des Wellendrehmoments benutzten Dehnungen entsprechende Korrekturgrößen zugesetzt werden, um die Messung zu verbessern. Ebenso ist eine Verbesserung der Messung möglich, wenn der Rechenwert mit einem Vergleichswert stationär kalibriert wird.

Nähere Einzelheiten über Koblenstofffaserverstärkte Kunststoffe finden sich beispielsweise im Band 167, "Kontakt und Studium", Dr.-Ing. Günther Niederstadt, Expert-Verlag, oder in einer Publikation der Firma Ciba Geigy zum Thema "Kohlefaser- und Aramidfaserkunststoffe für Kardanwellen" aus dem Jahr 1981.

Literatur hinsichtlich der Messung von Dehnungen mit Dehnungsmeßstreifen findet sich z. B. in dem Buch von Karl Hofmann "Eine Einführung in die Technik des Messens mit Dehnungsmeßstreifen", Verlag Hottinger, Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt 1987.

Fig. 3 zeigt die Festlegung der Wickelwinkel zweier Fasern im Torsionskörper aus Faserverbundwerkstoff. Der effektive Wickelwinkel  $w$  einer Faser ist dabei bezüglich der Achslängenkoordinate  $x$  des Torsionskörpers angegeben. Hierbei ist nach Fig. 3 z. B.  $w_1$  der Wickelwinkel der Fasersorte F1 und  $w_2$  der Wickelwinkel der Fasersorte F2.

Die Meßfläche 8 in der Rohrwandung 9 liegt senkrecht zum Rohrradius  $r_0$  und ist als nahezu ebenes Flächenstück anzusehen.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Erfassung des von einer Welle zwischen einem Prüfling und einer Prüfmaschine übertragenen Drehmoments mit folgenden Schritten:

- a) zur Kopplung von Prüfling und Prüfmaschine wird als Welle ein Rohr (3) in Form eines Mehrschichtverbundes aus Faser-Matrix-Kunststoff verwendet, so daß die Kopplung von Prüfling und Prüfmaschine in hinreichender Näherung einen Zweimassependler bildet;
- b) auf einem als annähernd eben anzusehenden Flächenelement (8) des Rohres (3), das senkrecht zum Rohrradius liegt, wird mit Dehnungsmeßstreifen (10) die relative Verzerrung in mindestens drei verschiedenen Richtungen gemessen;
- c) aus den relativen Verzerrungen ( $E_x$ ,  $E_y$ ,  $\gamma_{xy}$ ) wird durch Verknüpfung mit den zugehörigen Koeffizienten ( $B$ ) der Elastizität des Rohres für die betreffenden Richtungen (X, Y, XY) eine Kraft ( $N_{xy}$ ) ermittelt, die unter Berücksichtigung von Bezugsradius ( $r_0$ ) und Rohrlänge ( $l_0$ ) ein Maß für das Drehmoment ( $M_T$ ) darstellt.

**DE 40 21 914 C 2**

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Rechenwert für das Drehmoment hinsichtlich der drehzahlabhängigen Verformung der Welle (3) korrigiert wird.  
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß man den errechneten Drehmomentwert mit einem Vergleichswert kalibriert.  
4. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorangehenden Ausprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Rohr (3) aus koblenstoff- und/oder Aramitfaserverstärkten-Kunststoffen besteht, die schichtweise sich überkreuzend angeordnet sind.  
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Dehnungsmefstreifen (10) auf der Meßfläche (8) des Rohres (3) in zwei zueinander senkrechten Richtungen (X, Y) und in einer unter  $45^\circ$  dazu liegenden Richtung (XY) angeordnet sind.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

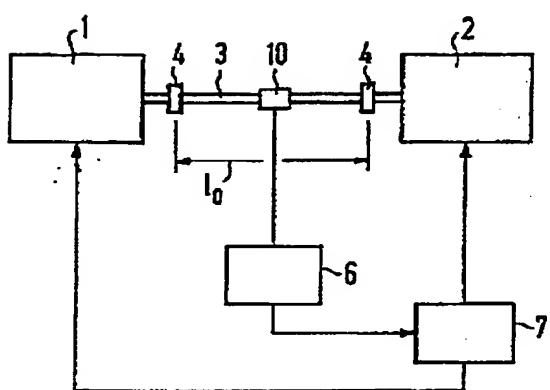


FIG 1

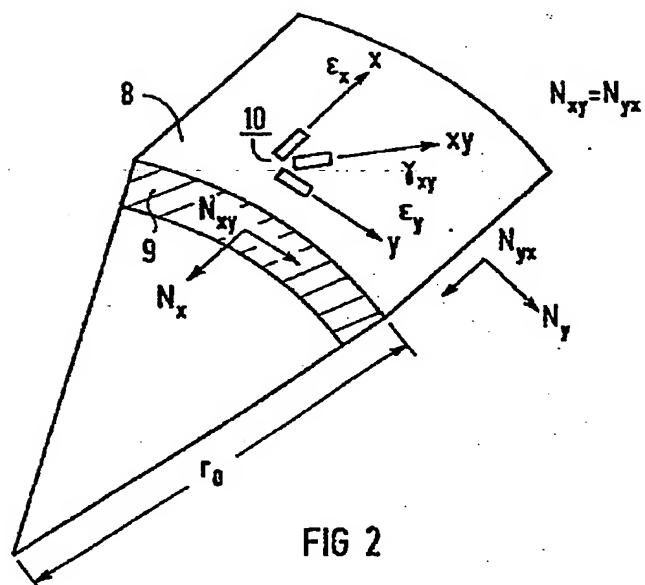


FIG 2

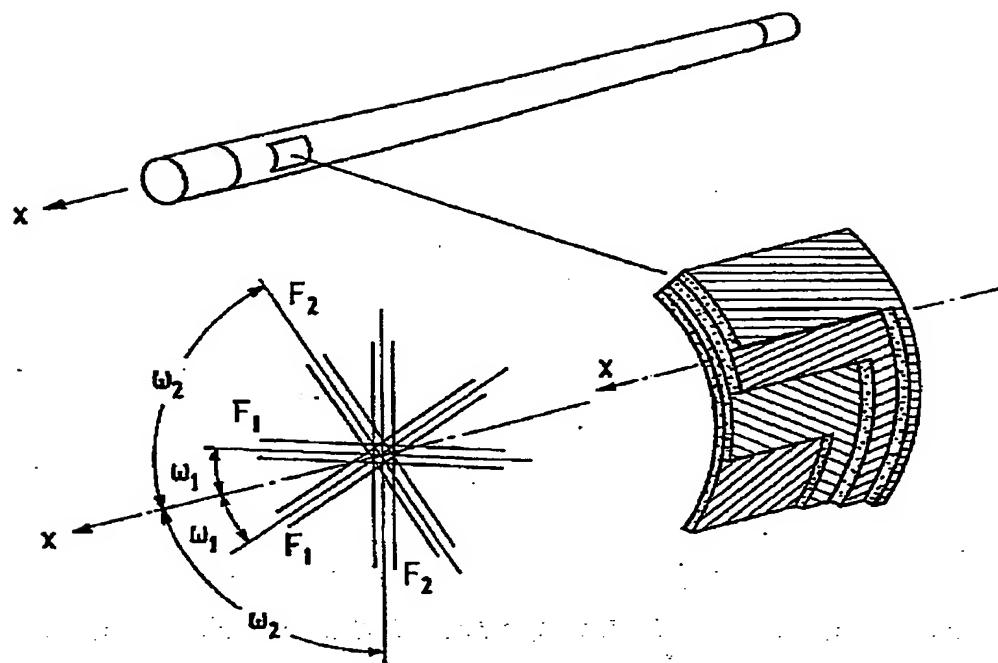


FIG 3